

## СЕКЦИЯ 3. ДЕФОРМАЦИЯ И ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ

### ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА СВЕРХПЛАСТИЧЕСКОЙ ФОРМОВКИ ЛИСТОВОГО МАТЕРИАЛА В МАТРИЦЫ РАЗЛИЧНЫХ ФОРМ

**Ахунова А. Х.**

*Руководитель – д.ф.-м.н., Дмитриев С. В.*

*Учреждение Российской Академии наук*

*Институт проблем сверхпластичности металлов, г. Уфа*

*Akhunova\_a@mail.ru*

Конструкции в виде многослойных тонкостенных панелей и оболочек широко используются в авиакосмической промышленности. Проведенные в последнее время исследования в России и за рубежом показывают, что высокую эффективность при изготовлении многослойных конструкций обеспечивает технологический процесс, основанный на сочетании сверхпластической формовки со сваркой давлением (СПФ/СД) [1].

Успех применения технологии СПФ/СД зависит от правильного назначения параметров процесса, обеспечивающих оптимальный режим пластической деформации материала. Очевидно, что параметры процесса СПФ следует определять из тестовых экспериментов, максимально приближенных по схеме напряженно-деформированного состояния материала к реальному технологическому процессу. Эксперименты на одноосное растяжение-сжатие, которые, как правило, используются для определения свойств материала, дают неадекватный результат, поскольку при СПФ тонкостенных листовых заготовок реализуется двухосное деформированное состояние. При всем разнообразии форм изделий, получаемых по технологии СПФ, напряженно-деформированное состояние в формуемой заготовке допустимо рассматривать близким либо к плоской деформации с компонентами главных напряжений  $\sigma_1 = 2\sigma_2$  и  $\sigma_3 = 0$ , либо к осесимметричной деформации с компонентами главных напряжений  $\sigma_1 = \sigma_2$  и  $\sigma_3 = 0$ . Для первого из этих случаев свойства материала лучше всего определять из тестовых формовок в клиновую матрицу, а для второго - в коническую матрицу.

Анализ результатов тестовых формовок существенно упрощается, если при постоянных действующем давлении газа напряженное состояние в центральной части заготовки не изменяется в процессе формовки. Этого можно добиться путем оптимизации формы матрицы, в частности выбором оптимального угла, определяющего геометрию матрицы.

Нами предлагается методика оценки оптимального угла между образующими плоскостями клиновой матрицы и оптимального угла раствора конической матрицы на основании теоретической оценки и результатов численного моделирования[2].

Теоретическая оценка была произведена при следующих допущениях:

1. Купол в процессе СПФ принимает форму сегмента цилиндра (клиновья матрица) или сегмента сферы (коническая матрица), гладко сопряженных с частью заготовки, находящейся в контакте с матрицей;
2. Толщина части заготовки, находящейся в контакте с матрицей, изменяется вдоль меридиана по линейному закону;
3. В цилиндрическом или сферическом сегментах заготовки предполагается равнотолщинность.

Точность сделанных оценок оптимальных углов матриц проверялась путем численного моделирования процессов СПФ/СД с использованием пакета ANSYS10.0 (учебная версия). Были проведены компьютерные эксперименты для обоих типов матрицы при различных значениях угла  $\alpha$  в диапазоне от  $35^\circ$  до  $86^\circ$  и для двух значений коэффициента трения  $k$ , 0,3 и 3. Рассматриваемые коэффициенты трения моделировали условия на границе заготовка-матрица близкие соответственно к наличию и отсутствию проскальзывания.

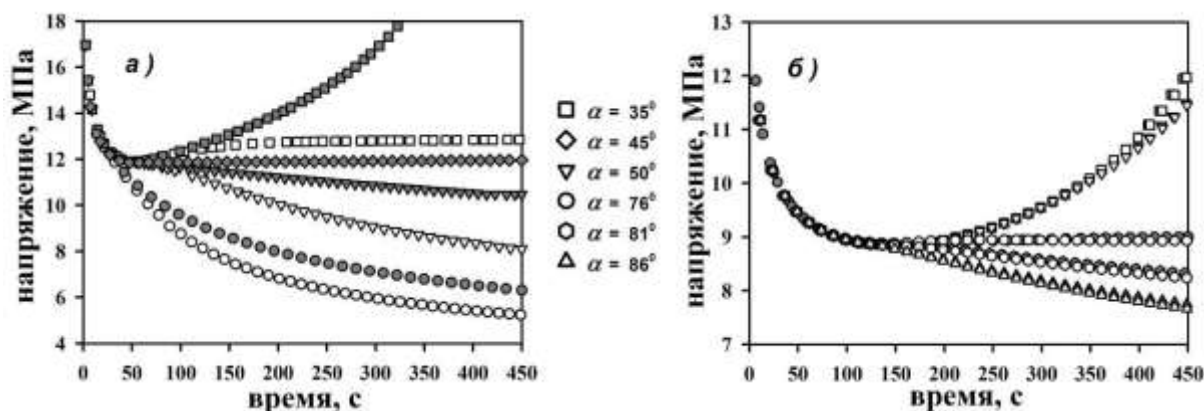


Рисунок 1. Эквивалентное напряжение в центре купола как функции времени, построенные по результатам моделирования процесса СПФ в клиновую (а) и коническую (б) матрицы для различных значений  $\alpha$  и  $k$ . Темные символы – коэффициент трения  $k=3$ , светлые символы – коэффициент трения  $k=0,3$ .

Из результатов моделирования формовки в клиновую матрицу (рис. 1, а) видно, что значение угла, при котором напряжения в центре образца постоянны в основном режиме формовки, сильно зависит от коэффициента трения  $k$ . В случае формовки в коническую матрицу (рис. 1, б) коэффициент трения  $k$  не оказывает заметного влияния на поведение кривых напряжений.

Поскольку при формовке листовой заготовки в матрицу имеет место контакт формируемой листовой заготовки с матрицей, то при моделировании этого процесса появляется проблема задания условий, реализуемых на контактной поверхности. Для того, чтобы оценить коэффициент трения, были проведены компьютерные эксперименты по сверхпластической формовке листовой заготовки в коническую матрицу с найденным оптимальным углом  $\alpha$  при различных коэффициентах трения  $k$ , в диапазоне от 0,003 до 3 [3]. По результатам моделирования, был найден геометрический параметр отформованных образцов, чувствительный к значению коэффициента трения и

на основании этого даны рекомендации по выбору коэффициента трения.

Полученные в работе результаты позволяют сделать следующие выводы:

1. Для клиновой матрицы значение коэффициента трения  $k$  на границе образец-матрица оказывает существенное влияние на процесс формовки, в то время как для конической матрицы влиянием  $k$  можно пренебречь;

2. Распределение толщины в заготовке при формовке в клиновую матрицу соответствует сделанным предположениям о линейном изменении толщины части заготовки, находящейся в контакте с матрицей и равнотолщинности в цилиндрическом сегменте купола. Что касается формовки в коническую матрицу, то предположение о равнотолщинности в сферическом сегменте купола не подтверждается, хотя предположение о линейном изменении толщины заготовки в конической части выполняется;

3. Сделанные предположения о форме купола выполняются с хорошей точностью для обоих типов матрицы;

4. Значение оптимального угла протяженной матрицы, с учетом заметного влияния трения, рекомендуется брать равным  $\alpha=35^\circ$ , поскольку значение  $\alpha=45^\circ$ , полученное из теоретической оценки, не учитывает проскальзывания материала на границе заготовка - матрица. Для конической матрицы, с учетом разнотолщинности в сферическом сегменте купола, рекомендуемое значение оптимального угла должно лежать в диапазоне  $60^\circ < \alpha < 76^\circ$ , то есть несколько выше теоретической оценки угла  $\alpha=60^\circ$ .

1. Петров Е.Н., Родионов В. В., Кузьмин Э. Н., Лутфуллин Р. Я., Сафиуллин Р. В. Ячеистые конструкции. Снежинск: Изд-во РФЯЦ-ВНИИТФ, 2008. 176 с.

2. Ахунова А. Х., Дмитриев С. В. Оптимизация формы матриц для тестовых сверхпластических формовок листовых заготовок // Деформация и разрушения материалов. 2009, №11, с. 40-44.

3. Ахунова А. Х., Дмитриев С. В., Круглов А. А., Сафиуллин Р. В. Методика оценки коэффициента трения между матрицей и образцом при сверхпластической формовке листового материала в коническую матрицу // КШП. ОМД., 2009, №6, с. 15-19.